

EL GASODUCTO MAGREB-EUROPA CRUCE DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Ignacio Martínez Díaz*
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

El gasoducto Magreb-Europa es un sistema para transportar gas natural desde los yacimientos de Hassi R'Mel, en el Sahara Argelino, a través de Marruecos y el Estrecho de Gibraltar hasta España y otros países europeos. El cruce del Estrecho de Gibraltar ofrece las mayores dificultades técnicas del proyecto, representando un auténtico desafío para su construcción debido a las excepcionales condiciones hidrodinámicas y de entorno. A continuación se pasa revista a los principales aspectos del proyecto de cruce del Estrecho de Gibraltar con especial énfasis en las campañas de reconocimiento oceanográfico, estudios del entorno marino y otras actividades críticas realizadas hasta la fecha con el fin de permitir la puesta en servicio del gasoducto en el último trimestre de 1995.

1.-Introducción

El establecimiento de la viabilidad económica del gasoducto Argelia-Europa Occidental, estuvo condicionado en el pasado por la factibilidad técnica del cruce submarino desde la zona magrebi del Norte de Africa hasta el Sur de España.

Dos áreas generales para un posible cruce por canalización del Mar Mediterraneo fueron seleccionadas desde el principio. Una en la zona del Estrecho de Gibraltar y la otra al Este del Mar de Alborán mediante el cruce directo entre las costas de Argelia y España. (Figuras 1 y 2)

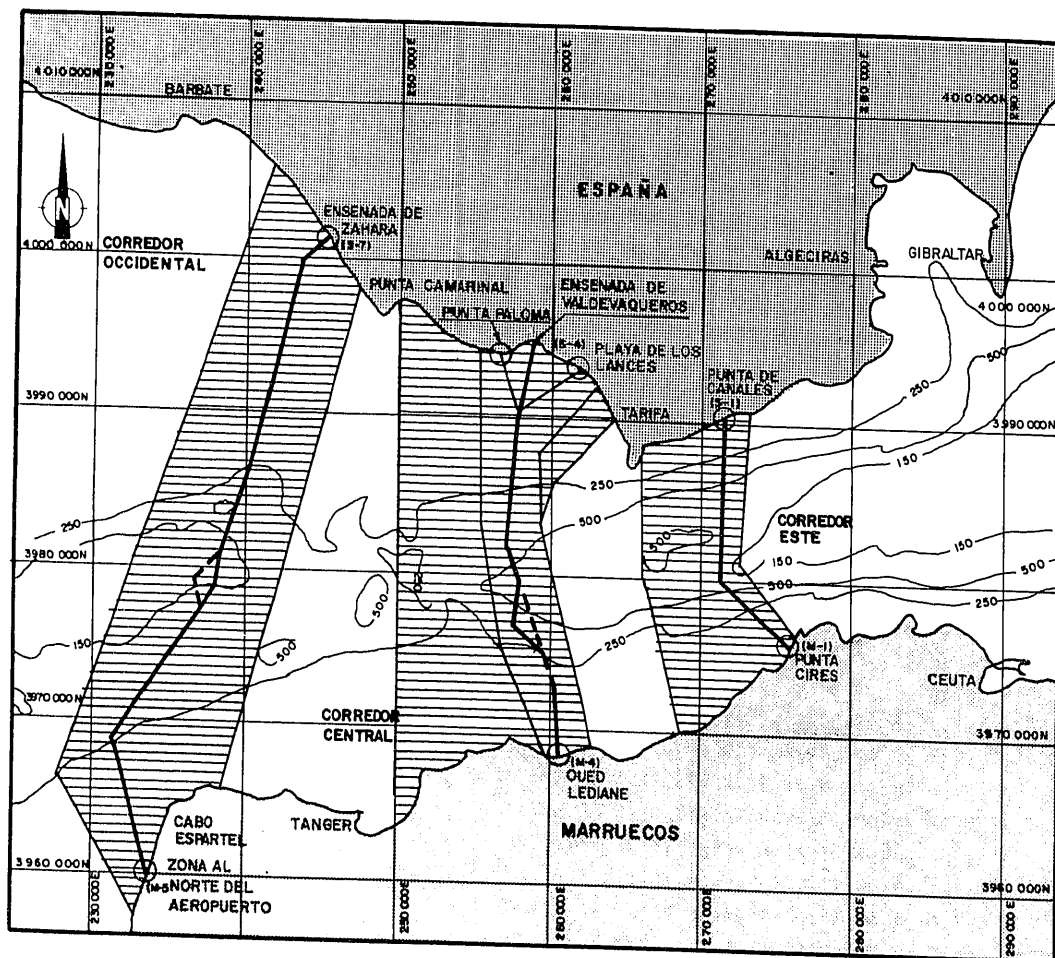
*Director Gerente de "Europe Maghreb-Pipeline Ltd"
(E.M.P.L.)

Desde 1959 hasta hoy varios reconocimientos marinos para un posible cruce fueron realizados para obtener un cúmulo suficiente y adecuado de información oceanográfica en cada una de las citadas áreas con objeto de establecer la factibilidad técnica de diferentes métodos para el cruce.

Todos los trabajos realizados en los años 70 fueron dirigidos primeramente por la compañía argelina SONATRACH y posteriormente por la Sociedad SEGAMO un consorcio en el que participaban además de SONATRACH, ENAGAS y GAZ DE FRANCE.

En los años 80 varios estudios complementarios fueron acometidos por SONATRACH y ENAGAS, y más recientemente entre enero y septiembre de 1992, un estudio de Ingeniería Básica fue realizado para establecer un diseño preliminar del

Figura 1: Corredores estudiados. Estrecho de Gibraltar



gasoducto submarino, dedicando especial atención a las zonas costeras y a identificar una ruta preferente en la franja del estrecho de Gibraltar, dentro del Proyecto de Gasoducto Magreb-Europa.

La primera fase del Gasoducto Magreb-Europa enlazará los yacimientos de gas natural de Hassi R'Mel (Argelia) vía Marruecos y el Estrecho de Gibraltar con la red de transporte española en las proximidades de Córdoba. En un futuro próximo están previstas extensiones de este gasoducto hacia Portugal y Francia.

Las cantidades que está previsto transportar en esta primera fase alcanzarán los 9,5 Gm³(n) por año en los tramos terrestres argelino y marroquí y 8,5 Gm³(n) en el Estrecho de Gibraltar, con una presión máxima de operación de 70 a 80 bar en los tramos terrestres y 155 bar en el Cruce del Estrecho. En su fase última la capacidad de transporte del sistema se cifra en 18,5 Gm³(n) y 16,5 Gm³(n) para los tramos terrestre y submarino respectivamente.

2.-Investigaciones oceanográficas

La finalidad de la campaña oceanográfica realizada en 1992 fue la de acumular suficiente conocimiento de la zona del Estrecho de Gibraltar para determinar, con un alto grado de precisión, las rutas tentativas para la instalación de varias tuberías submarinas entre las costas de Marruecos y España.

Para ello el reconocimiento marino se centró en la evaluación de las características de tres posibles corredores analizando la batimetría y morfología del fondo marino, los parámetros geotécnicos de los suelos, oleaje, corriente, vientos, mareas, así como la detección de restos de naufragios y otros obstáculos.

Antes de acometer los trabajos en el mar, se precedió a la recopilación y análisis de la documentación existente de otros estudios realizados en el pasado para distintos proyectos (enlace fijo, interconexión eléctrica, estudios de corrientes del

CUADRO 1

CORREDOR	REGISTROS / Km ²	PERÍODO	CAMPAÑA	CLIENTE
OESTE	514	Marzo-Abril 92	BEICIP-FRANLAB	OMEGAZ
CENTRAL	360	Diciembre 91	SONAR-91	SEGE/ OMEGAZ
ESTE	141	Marzo- Abril 92	BEICIP-FRANLAB	OMEGAZ

*Nota: SECEG - Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho Gibraltar S. A.
OMEGAZ - (SONATRACH - S.N.P.P. - ENAGAS - GAZ DE FRANCE - RUHRGAS - GAS DE PORTUGAL)*

denominado "Gibraltar Experiment" etc). Cabe destacar entre otros el primer estudio detallado que fue realizado en 1974 por la compañía americana WILLIAMS BROTHERS con el propósito de definir posibles corredores de paso, así como las campañas oceanográficas que el Instituto Español de Oceanografía ha venido realizando desde 1979 dentro del marco del proyecto de enlace fijo África-Europa mediante túnel o puente en el Estrecho.

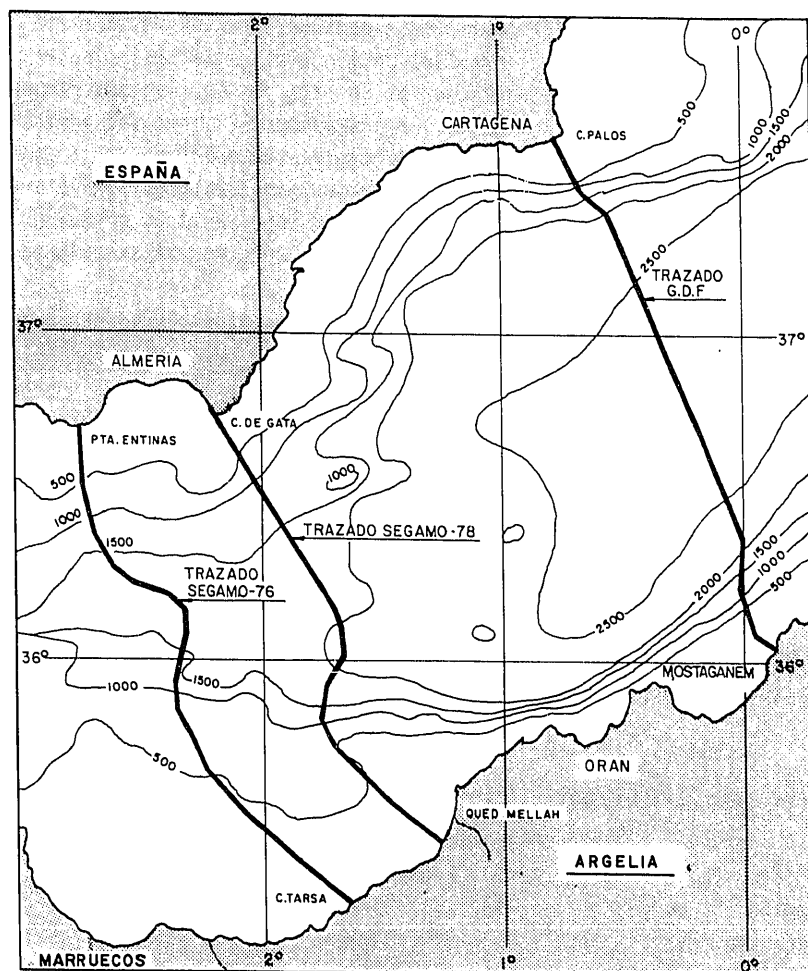
Durante la fase de Ingeniería Básica del Proyecto de gasoducto Magreb-Europa se realizó una campaña de reconocimiento batimétrico utilizando el barco S/V LE SUROIT equipado con eco-sonda multihaz SIMRAD EM-1000 y el software asociado. El reconocimiento se centró en tres posibles corredores de paso denominados respectivamente Oeste, Central y Este, considerados adecuados en principio para el tendido de tuberías submarinas.

Las cantidades registradas en 1991 y 1992 se indican en el cuadro 1

Un sistema "SYLEDIS" de radio-posicionado fue instalado y operado por MERTEK. La red U.H.F. SYLEDIS consta de 5 estaciones remotas fijas y una estación móvil (el barco). Por razones de operatividad logística las 5 estaciones fijas se instalaron en la costa española. Un sistema de posicionado por satélite G.P.S., fue utilizado como reserva.

Todos los datos recogidos durante la campaña de reconocimiento fueron entregados al consultor J.P. KENNY, Ingeniería especializada en gasoductos submarinos, para su introducción en un programa de análisis tridimensional denominado "IMPRESS" capaz de optimizar el trazado de la canalización en tiempo casi real.

Figura 2: Gasoducto submarino Argelia-España. Corredores estudiados



CURVAS BATIMÉTRICAS EQUIDISTANTES 500mts.

0 25 50 kms
ESCALA GRÁFICA

Dos meses de agua prevalecen en el área: la de superficie se origina en la zona norte del Atlántico y se extiende hasta los 125 m de profundidad con salinidad de 36 a 37 partes por mil; la otra, hasta el fondo, tiene una salinidad superior a las 38 partes por mil.

CUADRO 2

CORREDOR	LONGITUD (Km)	PROFUNDIDAD MÁXIMA (m)	CORRIENTES MAXIMAS EN EL FONDO cm/s	MAXIMA PENDIENTE %	ZONA DE COSTA
OESTE	45	388	172	10	BUENA
CENTRAL	27	547	120	20	EXCELENTE
ESTE	17	735	114	50	MALA

Asimismo, un reconocimiento geotécnico fue realizado en los tres corredores, incluyendo sonar-lateral, sondador de sedimentos, eco-sonda mono-haz y perfilador de subsuelo. Se recogieron muestras del fondo por sistemas de gravedad y vibro-corer. Se instalaron también correntímetros que fueron posicionados a alturas de 3 y 8 metros sobre el fondo del mar en diferentes emplazamientos a lo largo de los tres corredores.

Una breve descripción de cada corredor se indican en el cuadro 2

3.- Datos ambientales

3.1. Meteorología - Vientos y Oleaje

El clima en la zona estudiada se caracteriza por veranos secos y calurosos con predominio de

cielos claros y vientos flojos y variables. Los inviernos son suaves y húmedos, con tormentas que provocan precipitaciones que se mueven generalmente del Oeste hacia el Este. Los vientos en superficie en el área de estudio están influidos por las masas de tierra circundantes incluyendo las montañas en ambos lados del Mar Mediterráneo y los desiertos del sur.

Los vientos y el oleaje son los primeros condicionantes para determinar la estación de tendido.

Los datos cualitativos y cuantitativos se indican en el cuadro 3

3.2. Corrientes

Dos masas de agua prevalecen en el área estudiada. La masa de superficie se origina en la zona norte del Océano Atlántico y se extiende generalmente hasta los 125 metros de profundidad. La salinidad de las aguas superficiales es de 36 a 37 partes por mil, variando muy poco en las diferentes estaciones. En invierno, la salinidad en superficie es en general únicamente 0,5 partes por mil mayor que durante el verano. Las temperaturas oscilan en un rango de 14°C a 16°C durante el invierno y de 17°C a 18°C durante el verano. Debajo de la masa de agua superficial una masa de agua con salinidad que excede a las 38 partes por mil y con temperaturas de 13° C se extiende hasta el fondo del Estrecho y el Mar de Alboran. Durante la mayor parte del año la evaporación en superficie excede las precipitaciones y aportaciones de las cuencas ribereñas con el resultado de masas de agua superficiales en el Mar Mediterráneo que alcanzan valores de salinidad elevados y que se mueven hacia el Este. En invierno, las bajas temperaturas de las masas continentales de aire polar enfrían las aguas salinas de superficie hasta hacerlas suficientemente densas para que se crucen

CUADRO 3

Fuerza del viento:	Tarifa	50 m/s
(Período de retorno 100 años):	Zona central	40 m/s
	Costa Marroquí	40 m/s
Dirección del viento : Este (67,5° a 112,5°) 40 % del tiempo		
Velocidad significativa 10-20 m/s 60% del tiempo		
Oleaje :		
Período óptimo :	Julio/Agosto/Septiembre	
Peor período :	Swell menor que 1 m : 39 % del tiempo	
	Diciembre/Enero/Febrero	
	Swell mayor de 2 m : 25 % del tiempo	
Ola significativa :	(Hs)	(T)
(Período de retorno 100 años)	10,6 m	10-13 s
Ola máxima (Ha x 1,5)	16,1 m	15-19 s

por debajo de las aguas de procedencia atlántica y fluyendo hacia el Oeste. Estas masas de agua fría, densas y de alta salinidad originan el mecanismo de corrientes cerca del fondo del Estrecho de Gibraltar y en menor medida en el Mediterráneo Occidental.

La mareas en esta zona son semidiurnas con dos mareas bajas prácticamente iguales cada día. Las mareas más altas se presentan en el extremo Oeste del Estrecho y disminuyen hacia el extremo Este. Los puertos situados en la costa atlántica del Norte de África y de España experimentan carreras de marea de unos 3 metros aproximadamente. Por el contrario los puertos de la zona Oeste del Mar Mediterráneo y próximos al Estrecho no experimentan apenas cambios de marea. Estas diferencias en las mareas son esenciales para completar el mecanismo de corrientes globales en el Estrecho de Gibraltar.

Datos recogidos en la campaña realizada por OMEGAZ durante 210 días del 11 de abril al 12 de noviembre de 1992 han permitido registrar las corrientes máximas expresadas en el cuadro 4

3.3. Otros condicionantes marinos y costeros

3.3.1. Tuberías y cables

En la literatura (Heezen 1967) un número significativo de cables están inventariados a lo largo del Estrecho, principalmente en la costa española y muy cercanos a tierra. De acuerdo con la misma referencia la mayoría de los cables inventariados quedaron fuera de servicio antes de 1967. Según datos facilitados por la compañía Telefónica no existen cables en operación en la zona del Estrecho propiamente dicha.

En el futuro esta prevista instalar un cable telefónico que enlazará Palermo (Italia) con Cancun (México) dentro del marco del proyecto COLUMBUS y que cruzará el gasoducto Magreb-Europa.

No existen tuberías instaladas en el Estrecho.

3.3.2. Restos de naufragios y otros obstáculos en el fondo

En el fondo del Estrecho se pueden encontrar numerosos restos de naufragios (barcos hundidos tanto civiles como militares, posiblemente algún submarino, aviones, contenedores y otros restos).

CUADRO 4

	Corredor Oeste	Corredor Este
Datos Medidos	Agua atlántica (67 m W.D.) Este 1,10 m/s (21 días) Agua mediterránea (3 metros sobre el fondo) Oeste 1,72 m/s (210 días)	Agua atlántica (superficie) Este 2,50 m/s (cada marea de primavera / 14d) Agua mediterránea (3 metros sobre el fondo) Oeste 1,14 m/s (210 días)
Datos adoptados para el diseño (factor de conversión 1,5)	Oeste 2,58 m/s	Oeste 1,71 m/s

A este respecto se obtuvieron datos precisos del Servicio Hidrográfico de la Marina, Almirantazgo Británico y otros archivos. Un total de 29 restos de naufragios están registrados en esta zona, 14 de ellos reflejados en cartas marinas.

3.3.3. Tráfico de barcos y anclas

El Estrecho de Gibraltar se caracteriza por tener una gran intensidad de tráfico internacional de barcos, tanto a lo largo del Estrecho, como en el cruce del mismo entre las costas de España y Marruecos.

Un número estimado entre 50.000 y 60.000 travesías tienen lugar cada año en la zona del Estrecho como tráfico de entrada y salida del Mar Mediterráneo. Su distribución a lo largo del año es bastante uniforme con una sobrecarga en las épocas de primavera y verano.

El mayor número de travesías corresponde a los barcos de carga general (incluidos contenedores) seguido por buques cisterna, graneleros y buques de guerra (incluidos submarinos). Dos millones de toneladas de crudo, 500.000 toneladas de productos químicos atraviesan el Estrecho cada día, y 250 petroleros lo hacen cada mes.

Grandes buques, mayores de 200.000 toneladas de registro bruto, pasan una media de 2 a 3 veces por día. Con una periodicidad de una vez al mes se puede observar el paso de un petrolero de más de 400.000 DWT (entre los más grandes del mundo).

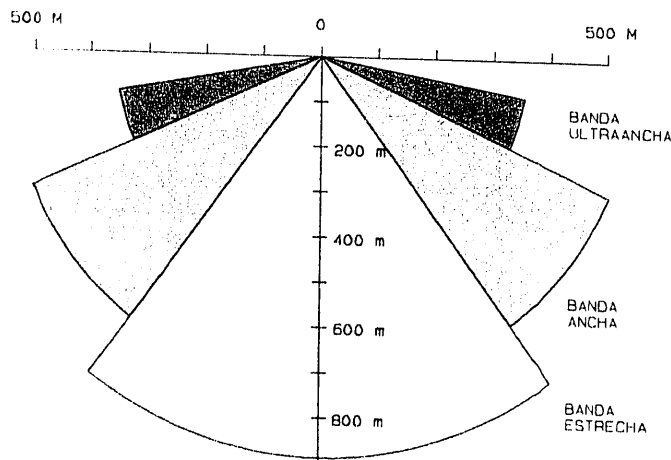


Figura 3: Sistema Simrad EM-1000. Cobertura/Profundidad

La velocidad normal de paso de los buques por el Estrecho es de 7 a 9 m/s.

El tráfico marítimo que cruza el Estrecho enlazando las costas de España y Marruecos está constituido por transbordadores que transportan pasajeros, coches y camiones y los "hidro-foils" (pasajeros únicamente), que conectan Tánger y Ceuta en el norte de Marruecos con Tarifa, Algeciras y Gibraltar en el sur de España.

Las actividades de anclaje son difíciles cuando no imposibles en gran parte del Estrecho debido a las elevadas profundidades. El anclaje de emergencia puede tener lugar en aguas menos profundas en las zonas de costa tanto por lo que respecta al tráfico de larga distancia o como al debido a las actividades de pesca.

Los dos países costeros están encargados de garantizar la seguridad de la navegación a lo largo del Estrecho. Actualmente la monitorización y control del tráfico marino se realiza mediante enlace por radio con Tánger y con el radar del centro de control de tráfico de Tarifa. Este radar cubre el área de los pasillos de tránsito en la zona del Estrecho pero no proporciona cobertura de la zona del corredor Oeste contemplado para el tendido del gasoducto. Están en proyecto la instalación de dos nuevos radares, uno en Marruecos y otro en España, pero su puesta en servicio no se realizará a tiempo para las necesidades del proyecto de gasoducto.

3.3.4. Actividades de pesca

Las primeras informaciones sobre actividades de pesca se han obtenido directamente de con-

tactos habidos con las cofradías de pescadores, organizaciones de armadores y autoridades marítimas.

No se ha constatado en el área del Estrecho pesca de arrastre debido a las elevadas corrientes así como a las dificultades que ofrece el fondo marino. Zonas de fondo arenoso en las que el arrastre sobre el fondo es posible escasean en la zona.

No obstante, no se debe descartar el riesgo asociado a dicha actividad así como el arrastre que pudieran provocar las anclas o cables en áreas de profundidades de algunos cientos de metros.

Las redes para la pesca del atún pueden encontrarse a distancias entre 12 a 14 km de la costa. Estas redes están ancladas en el fondo del mar y pueden ocasionar molestias y riesgos en las campañas de reconocimiento.

En el otoño los atunes adultos y las crías abandonan el Mar Mediterráneo migrando hacia el Océano Atlántico, por lo que durante los meses de junio a agosto es normal encontrar las famosas "almadrabas" al Sur-Oeste de cabo Espartel en la costa marroquí y en las proximidades de Barbate en la costa española.

4.-Criterios de diseño y resultados de la ingeniería básica

4.1. Códigos y especificaciones

Una de las partes del alcance de trabajos de la fase de Ingeniería Básica fue la de determinar los códigos y normas internacionales aplicables al Estrecho de Gibraltar. Los códigos y normas recomendados eran principalmente los utilizados corrientemente en el Mar del Norte, específicamente los del Instituto del Petróleo, "Pipeline Safety Code" y los Det Norske Veritas (Dnv).

Los códigos citados anteriormente se complementan en las áreas de diseño cuando son de aplicación con los siguientes :

■ British Standard Institute "BS 8010 : Part 3 - Pipeline Subsea - Design, Construction and Installation".

■ ANSI/ASME "Gas transmission and Distribution Piping Systems ASME B 31.8"

■ Department of Energy "Submarine Pipeline Guidance Notes".

4.2. Análisis Hidráulico

Los cálculos hidráulicos realizados, basados en los caudales de gas a transportar en la primera fase del proyecto Magreb-Europa, considerando un factor de carga de 0,85 y una reserva de capacidad de transporte del 100 %, conducen a la necesidad de instalar dos tuberías de 22". El sistema adoptado corresponde a la serie ANSI 900 libras con presiones de operación de hasta 155 bar.

4.3 Espesores de tubería

El análisis de espesores de la tubería se realiza considerando los requerimientos de presión interna, colapso, iniciación de pandeo y propagación de pandeo.

El espesor seleccionado para los posibles corredores, basado en tubería de acero grado X-65 son:

Corredor Oeste..... 20,6 mm
Corredor Central.....25,4 mm
Corredor Este..... 27,0 mm

El análisis también identifica la necesidad de instalar rigidizadores para evitar la propagación de pandeo en cada uno de los 3 corredores.

4.4. Estabilidad de la tubería

El análisis de estabilidad de la tubería identifica los requerimientos de lastrado de hormigón para evitar la flotabilidad de la misma.

Los valores obtenidos son los reflejados en el cuadro 5.

El análisis también identifica el límite de profundidad de agua por debajo de la cual se requiere estabilidad adicional bien sea por incremento del espesor de la camisa de hormigón, vertidos de rocas sobre la tubería, colocación de colchones especiales de hormigón armado o bien realización de zanjas submarinas.

CUADRO 5

Corredor Oeste	45 mm	(densidad del hormigón : 2250 kg/m ³)
	40 mm	(densidad del hormigón : 3050 kg/m ³)
Corredor Central	40 mm	(densidad del hormigón : 2250 kg/m ³)
Corredor Este	0 mm	

4.5. Análisis de la suspensión libre

Los análisis de suspensión libre, o distancia entre dos puntos de apoyo de la tubería en el fondo se realizarán considerando las tensiones estáticas, efectos provocados por turbulencias en el fondo y requerimientos de pandeo. Se consideran las condiciones que se producen tanto en la fase de instalación como las correspondientes a las pruebas hidrostáticas y la fase de operación (Cuadro 6).

Estos requerimientos tienen por objeto establecer las intervenciones en el fondo antes de instalar la tubería para evitar luces excesivas y después de instalarla para eliminar aquellas luces que superen los máximos permitidos.

Se puede cuantificar de esta forma los volúmenes de roca y fondo marino a remover, bien sea por voladura de los salientes bien por vertido de rocas para rellenar vanos existentes. Los valores estimados para los tres corredores estudiados son los que se reflejan en el cuadro 7.

4.6. Tensiones durante el tendido

El análisis de tensiones durante la fase de tendido se realiza para confirmar la viabilidad del mismo de acuerdo con lo indicado en el apartado anterior y considerando las configuraciones de tendido mediante el método de la curva en "S" basado en barcas de tendido típicas de la 3a generación utilizadas normalmente en el offshore del Mar del Norte.

CUADRO 6

Corredor	Oeste	Central	Este
Instalación	34,3 m	39,4 m	40,8 m
Prueba hidráulica	31,7 m	35,2 m	40,4 m
Operación	29,2 m	33,5 m	34,8 m

CUADRO 7

corredor	Oeste	Central	Este
Pre-tendido			
- Intervenciones	313	221	113
- Volumen m ³	20.400	22.400	46.410
Post-Tendido			
- Intervenciones	60	74	15
- Volumen m ³	3.600	4.440	900

Los resultados se resumen a continuación :

Corredor Oeste : La instalación de las tuberías es factible, si bien, se requieren modificaciones en la rampa de salida de los barcos considerados

Corredor Central : La instalación no se considera factible con los barcos existentes incluso modificando la rampa de lanzamiento de la tubería en la zona de contacto con el agua. Una reducción en el peso sumergido de aproximadamente un 28 % se considera necesaria para reducir las tensiones durante el tendido a niveles aceptables.

Corredor Este: La instalación es factible, siendo necesarias modificaciones en la rampa de tendido de los barcos considerados.

4.7. Protección de la tubería

La evaluación de los requerimientos para la protección de la tuberías incluye el registro del fondo, la estabilidad de la tubería, las interacciones con actividades de pesca y anclado y el efecto de los objetos caídos desde los barcos que cruzan el Estrecho (pérdida de cargas en cubierta, contendedores, etc).

Fruto de este estudio se recomienda enterrar la tubería hasta profundidades de -80 m bajo el nivel del mar. En las zonas más profundas de las rutas seleccionadas no se recomienda protección especial en base a :

- La tubería se diseña para ser estable en el fondo del mar bajo las condiciones extremas de cálculo.
- Mecanismos de arrastre sobre el fondo no son habituales en profundidades de agua superiores a 80 metros.

- Las condiciones del fondo marino no son favorables para la excavación de zanjas.

4.8. Prevención de la corrosión

Se han analizado los requerimientos y posibles métodos para proporcionar a la tubería protección contra la corrosión. Los revestimientos externos considerados incluyen productos bituminosos - Coal Tar Enamel (C.T.E.), polietileno (PE) y pinturas Epoxy-Fusión Bonded Epoxy (FBE). El revestimiento externo actúa como protección pasiva.

Como protección activa se han considerado los sistema de corriente impresa y los ánodos de sacrificio. Para los corredores Oeste y Central se recomienda el revestimiento con CTE y ánodos de sacrificio mediante brazaletes de Aluminio-Cinc-Indio. Para El Corredor Este, en el que no se necesita lastrado de hormigón, el revestimiento más idóneo parece ser el de FBE complementado con los mismos brazaletes como ánodos de sacrificio.

Se han analizado asimismo las necesidades para la protección contra la corrosión interna de la tubería, considerando que esta no es estrictamente necesaria, si bien una pintura epoxy puede reducir la rugosidad y con ello las pérdidas de carga por fricción.

En el corredor Central se han estudiado asimismo los posibles efectos en el sistema de protección catódica de la interconexión eléctrica prevista entre España y Marruecos mediante la instalación de cables submarinos que operaran a alto voltaje y con corriente continua, no presentándose mayores problemas siempre que los cables eléctricos vayan convenientemente aislados.

4.9. Material de la tubería

La evaluación del material de las tuberías considera la composición del gas transportado, los requerimientos mecánicos, las posibilidades de fabricación de tubería con fuertes espesores y los factores de coste.

El resultado de las evaluaciones efectuadas se resume a continuación :

- Tipo de material: acero al carbono
- Especificación de material: API 5L
- Grado del material: X-65
- Técnica de fabricación: SAW

Se recomienda enterrar la tubería hasta profundidades de -80 m bajo el nivel del mar.

- Diámetro exterior : 20/22"
- Espesor de pared: 20,6 mm (corredor Oeste)
25,4 mm (corredor Central)
27,0 mm (corredor Este)
- Tolerancia para corrosión interna: 1 mm

5.- Descripción de métodos de tendido

5.1. Tendido de tuberías submarinas

Varios métodos de tendido de tuberías submarinas han sido identificados :

- Método de la curva en "S"
- Método de la curva en "J"
- Método de tendido por arrastre.

5.1.1. Método convencional de tendido en "S"

La gran mayoría de las tuberías submarinas de gas y petróleo son instaladas actualmente utilizando para el tendido métodos convencionales. Los barcos utilizados disponen de posicionado dinámico y responden al diseño de las barcasas semi-sumergibles de la tercera generación.

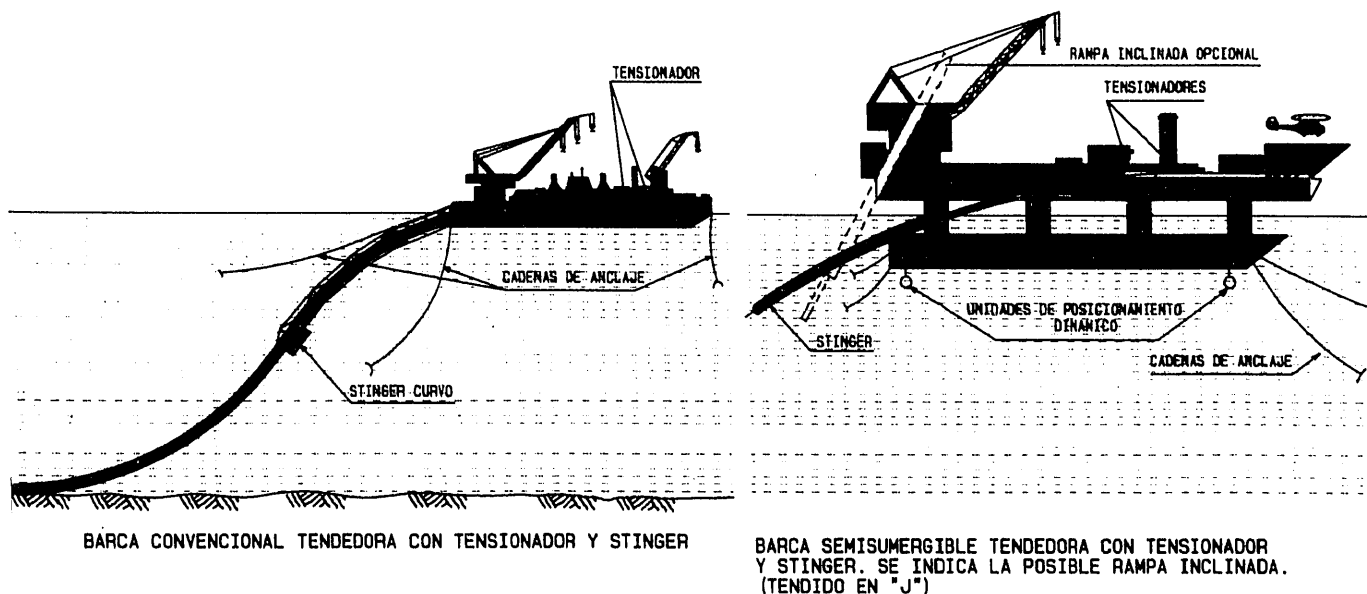
Una obra típica de tendido de tuberías en el mar comprende lo siguiente :

- Barcaza de tendido
- Barco de reconocimiento
- Remolcadores para levado de anclas
- Barco para el transporte de tubos
- Barco oceanográfico
- Barco de soporte y apoyo a submarino no tripulado (Remote Operate Vehicule ROV)
- Equipos y barco de apoyo para dragado
- Un frente de obra para excavación de zanja
- Un frente de obra para voladuras submarinas
- Flotilla para transporte de personal
- Helicóptero de apoyo para evacuación de personal en emergencias.

Durante las operaciones de tendido de tuberías es necesario disponer de barcos de vigilancia en la zona para supervisar los movimientos de barcos pesqueros y otras barcasas que pudieran afectar a la tubería hasta su completa protección.

El elemento principal de la flota de tendido es la barcaza semisumergible. Los barcos de tendido considerados para la instalación de tuberías en el Estrecho de Gibraltar se indican en el cuadro 8.

Figura 4: Barcos de tendido según curva en "S"



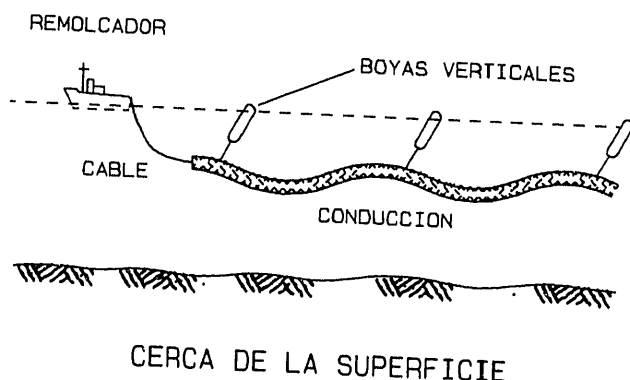
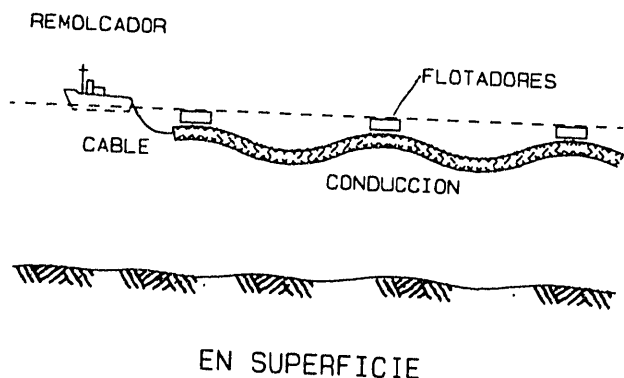
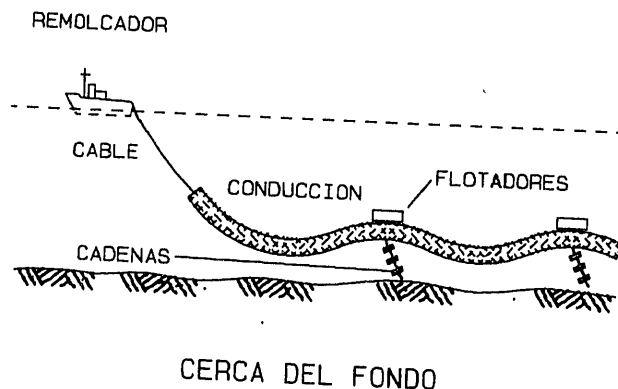
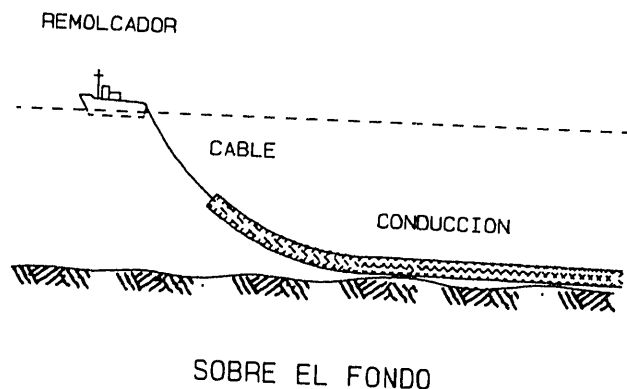


Figura 5: Métodos de tendido por arrastre

5.1.2. Instalación por el método de curva en "J"

El tendido por el método en "J" es utilizable para la instalación de tuberías en aguas profundas.

El método requiere la utilización de un barco de posicionamiento dinámico o a una barcaza semisumergible para tender la tubería con una configuración en "J" en la zona de contacto con el fondo del mar.

Si bien este método proporciona un potencial para el tendido en aguas profundas, no ha sido hasta la fecha utilizado con profusión. Sin embargo la sociedad Heeremac ha desarrollado y utilizado con éxito un barco para el tendido en "J". Allseas y EMC han indicado asimismo la posibilidad de utilizar sus barcos en la modalidad de tendido en J.

Los tres contratistas de tendido son de la opinión que el tendido en "J" es factible para el cruce del Estrecho de Gibraltar si bien únicamente Heeremac dispone de tecnología probada y experimentada con éxito y un sistema disponible actualmente.

5.1.3. Método de arrastre

Otros métodos de tendido diferentes a los de las curvas en "S" o en "J", responden a las técnicas

CUADRO 8

BARCOS DE TENDIDO CONVENCIONAL

BARCO	OPERADOR	TIPO
SEMAC I	EMC*	Barcaza semi-sumergible
CASTORO SEI	EMC	Barcaza semi-sumergible
CASTORO OTTO	SAIPEM	Barcaza convencional
DBL 1601	ET PM/Mc Dermott	Barcaza convencional
LB 200	ET PM/Mc Dermott	Barcaza semi-sumergible
LORELY	ALLSEAS	Barco convencional

* EMC - European Marine Contractor (Saipem/Brown & Root)

cas de tendido mediante arrastre controlado. Cuatro métodos generales de arrastre pueden citarse :

- Arrastre sobre el fondo
- Arrastre próximo al fondo
- Arrastre a profundidades medias
- Arrastre en superficie

Estos métodos ofrecen frecuentemente soluciones atractivas tanto técnicas como comerciales sobre los otros métodos de tendido. Sin embargo, en el caso del cruce del Estrecho se puede afirmar de una manera general que debido a las severas condiciones de entorno y las longitudes de tendido versus las profundidades encontradas, la técnica de arrastre no es viable en nuestro caso.

5.2. Construcción en las zonas de aproximación costera

5.2.1. General

Para la instalación de las tuberías en las zonas de desembarco en tierra, varias opciones son factibles, ofreciendo cada una de ellas sus ventajas en función de los tiempos de ejecución. Dos técnicas se consideran básicamente :

- Tiro desde tierra de la tubería que sale de la rampa de tendido del barco.
- Tiro desde el barco de la tubería prefabricada en tierra

5.2.2. Dragado

Para los tipos de aterrajajes considerados en las áreas de estudio, con pendientes suaves, playas con alternancia de materiales arenosos y rocosos alcanzando profundidades de -15 metros a distancias de 0,5 - 1 km de la costa, la solución mas apropiada y con un coste razonable para enterrar la tubería es el dragado. Las operaciones de dragado para la tubería submarina en las proximidades de la costa puede ser realizada por equipos de movimientos de tierra convencionales basados en tierra; Los productos de la excavación pueden colocarse facilmente a lo largo de la zanja o en zonas habilitadas para los productos de excava-

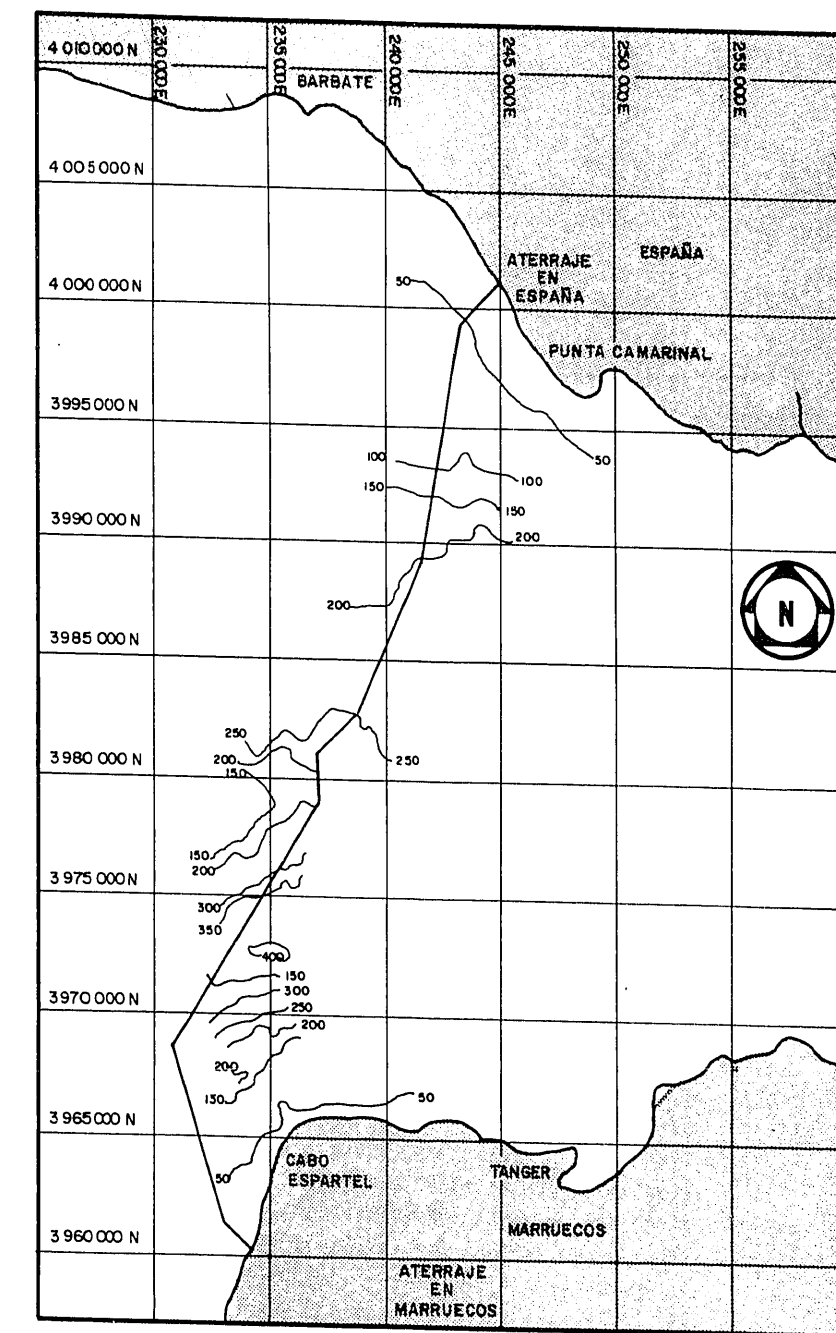


Figura 6: Gasoducto Magreb-Europa. Trazado del cruce submarino en el Estrecho de Gibraltar.

ción para su posterior restitución a la zanja. La tecnología utilizada es simple, suficientemente probada y de manipulación sencilla.

Dependiendo del método elegido para la instalación de la tubería, por ejemplo tiro desde tierra, puede ser necesario excavar un amplio canal de acceso para permitir al barco alcanzar una proximidad razonable a tierra. Todo ello depende naturalmente de diversos factores tales como el

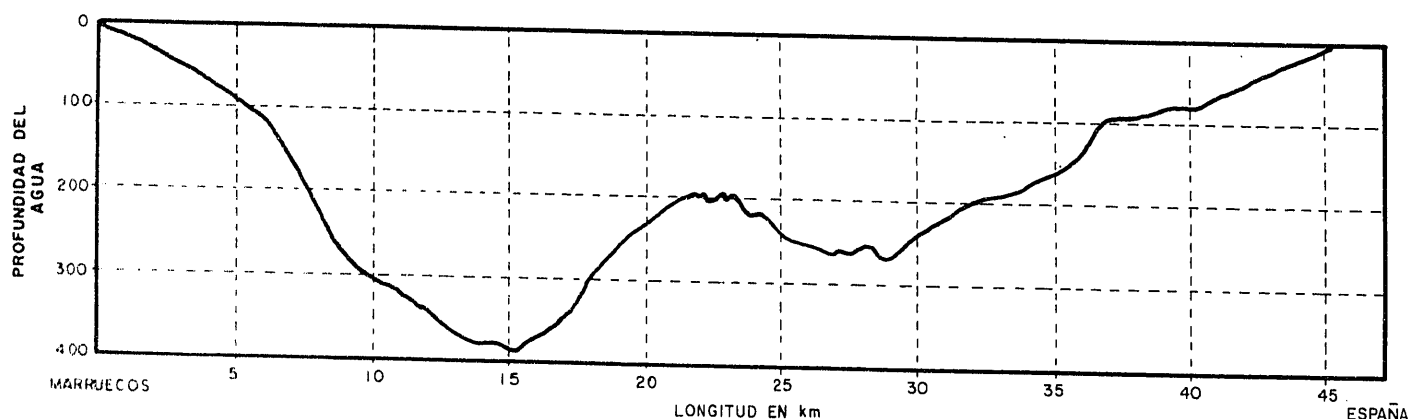


Figura 7: Gasoducto Magreb-Europa. Cruce del Estrecho de Gibraltar. Perfil longitudinal.

perfil del fondo marino, calado del barco etc, que no pueden ser conocidas con precisión hasta elegir el emplazamiento definitivo de salida al mar o disponer de una lista restringida de posibles barcos de tendido.

para las zonas estudiadas del Estrecho la utilización de arados, es el método más apropiado si se excluye el dragado.

5.2.3. Ejecución de zanjas

Los requerimientos para asegurar la estabilidad de la tubería en las zonas cercanas a la orilla del mar pueden alcanzarse colocando la tubería en zanja hasta alcanzar láminas de agua de unos 70 metros, en el Corredor Oeste y Central. Esto excede de la profundidades máximas practicadas en el dragado y ofrece metodos alternativos a las técnicas de zanjado en aguas más profundas. El siguiente equipo puede considerarse :

- Arados
- Zanjadoras mecánicas
- Lanzas con agua a presión

Por lo que respecta al crucé del Estrecho de Gibraltar en las zonas próximas a la orilla del mar los fondos son generalmente arenosos con afloramientos rocosos dispersos. Normalmente será posible seleccionar un trazado final en la fase de ingeniería detallada que evite dichos afloramientos. Los suelos arenosos permiten el uso de lanzas a presión, si bien los grandes volúmenes de material removido desaconsejan esta técnica, salvo para enterrar cables de pequeña sección. Los equipos de corte mecánicos son preferidos en terrenos arcillosos que permitan asegurar unos perfiles de zanja estables, pudiendo concluirse que

6.-Corredor seleccionado y situación actual del proyecto

Como resumen de lo anteriormente expuesto, y una vez realizadas las comparaciones técnico-económicas de todos los factores que inciden en el tendido de las tuberías submarinas, la sociedad EMPL con el asesoramiento de Ingenierías especializadas, ha elegido como corredor de paso del Estrecho de Gibraltar el denominado corredor Oeste que parte al Sur de Cabo Espartel en la costa marroquí y alcanza la costa española en las proximidades de Zahara de los Atunes.

En dicho corredor está previsto instalar en una primera fase dos tuberías de 22" con una longitud estimada de 45 Km y profundidades máximas de 390 metros. Por ellas podrán circular caudales de gas de 9,5 Gm³(n)/año con una redundancia del 100 %. En su fase última una tercera tubería podría ser instalada para alcanzar los 18,5 Gm³(n)/año.

El programa de actuaciones previstas contempla el tendido de dichas tuberías en el período de otoño-invierno del 94, para permitir las intervenciones post-tendido y pruebas previas a la operación durante 1995.

La fecha de entrada en servicio de la primera fase del gasoducto Magreb-Europa esta prevista para el último trimestre de 1995. ■